

4MeV 电子直线探伤加速器主要参数测量

关秀芬 杨真媛 史秀珍 刘桂兰
毕全理 李景云

(中国原子能科学研究院, 北京 102413)

关键词 剂量率, 剂量场分布, 能量, 焦点大小, 灵敏度。

一、X 射线剂量率的测量

在加速器中心轴线上距靶 1 m 处, 放置标准剂量计空腔电离室, 此电离室放在 $160\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ 的标准有机玻璃模体的最大剂量深度处, 用标准次级剂量计进行测量。经激光对中后, 在不同重复频率下, 重复三次, 测得最大吸收剂量率为 4.11 Gy/min 。

二、剂量场分布的测量

标准剂量计电离室中心位置同 X 射线剂量率的测量相同, 在加速器运行中, 由跑车带动电离室连同有机玻璃模体垂直于束轴的横向运动, 其横向运动位置由数字显示, 在控制室中可控制跑车的移动, 用激光对中来确定跑车和电离室的中心位置, 在 $\phi 400\text{ mm}$ 的照射野内, 距

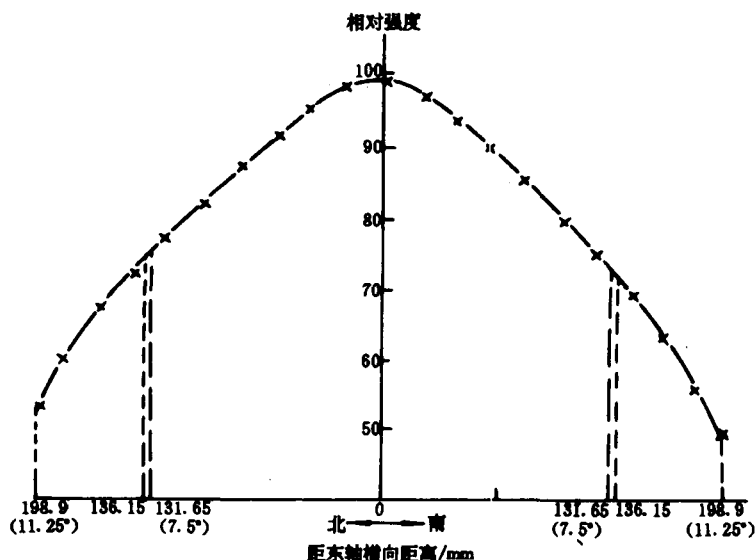


图 1 剂量场分布图

Fig. 1 Schematic of X-ray field distribution

靶 1 m 处等间隔地测出剂量场水平分布(包括测量时间内加速器本身的不稳定性及电离室横向位置的不确定度在内)。电离室水平位置误差约 ± 1 mm。在重复频率为 150 次/s 的情况下所测得的剂量场的分布曲线如图 1 所示。测得在束轴两侧 $\pm 7.5^\circ$ 点上的剂量率为中心轴线上的 71%—74%。束轴两侧 $\pm 7.5^\circ$ 点上强度的不对称性小于 $\pm 2\%$ 。

三、电子能量的测量

采用钢材宽束半值层法测定电子束能量。在电离室有机玻璃模体内放置不同厚度的钢板, 分别测出剂量率的变化(表 1)。

表 1 经不同钢板厚度后 X 射线的衰减

Table 1 X-ray attenuation for different steel thickness

钢板厚度/mm	0	25.4	50.4	75.4	100.4	125.4
监测剂量计读数/ $10^{-2}\text{Gy} \cdot \text{mm}^{-1}$	272	272	272	268	265	267
标准剂量计读数/ $10^{-2}\text{Gy} \cdot \text{mm}^{-1}$	282.6	156.6	80.2	39.4	19.6	10.0
相对强度	100	55.4	28.4	14.2	7.14	3.61

图 2 是在钢板后面的相对剂量随钢板厚度而衰减的曲线图。所加钢板厚度与剂量率的对数呈线性关系, 考虑到宽束条件, 在两个半值层后, 衰减达到了平衡, 半值层为一常数, 测出半值层为 25.3 mm(钢), 表明加速器电子能量大于 4MeV。

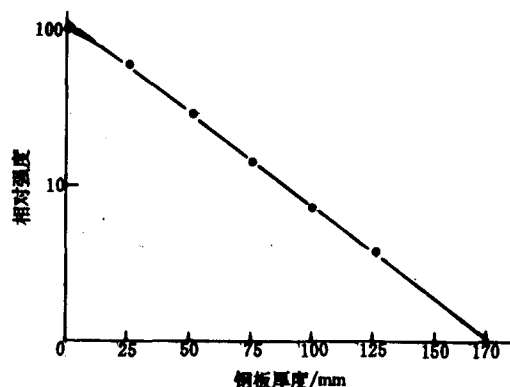


图 2 经不同厚度钢板后 X 射线的衰减

Fig. 2 Schematic of X-ray attenuation for different steel thickness

四、X 射线焦点的测量

用“夹心面包”叠块进行测量, 该叠块用一层厚 0.145 mm 铜箔和一层厚 0.19 mm 聚脂薄膜相间多层平行紧密夹在一起, 它们的长度为 300 mm, 宽 38 mm, 总叠块厚为 30.3 mm。

将叠块紧挨靶放置, 把 X 光胶片紧贴在叠块后面曝光一次, 照射后得到竖直条纹照片。不动 X 光胶片, 将此叠块旋转 90° , 再曝光一次, 可在胶片上得到十字交叉的竖直条纹照片, 直接测得 X 射线的焦点尺寸。当整机安装完毕后, 可将此叠块平行放于距靶不同位置的轴线上进行上述相同测量。将十字条纹照片在自动测微光度计上测试并进行图象处理, 分别测出 X, Y 两个方向上的黑度分布曲线(图 3), 扣除本底取黑度分布曲线上的半宽度内的条纹数乘以叠块间距, 即得到距靶不同位置的表观宽度列于表 2, 然后利用外推法得到 X 射线焦点大小(图 4)。

表 2 距靶不同位置的焦点表观宽度

Table 2 Apparent width of focal spot size at different position from target

焦点表观宽度/mm	1.87	2.10	2.39	2.56	2.82
距靶/cm	紧挨靶	16.3	50.0	70.0	100.0

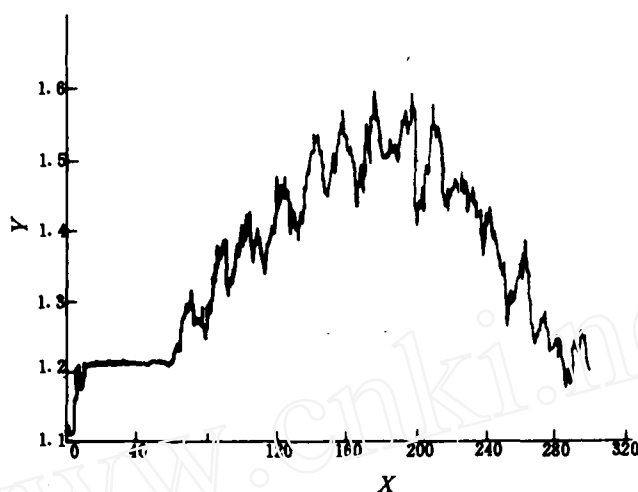


图 3 黑度分布曲线

Fig. 3 Density distribution curve

用外推法得出的 X 射线焦点大小为 1.95mm, 其测量最大不确定度为 $\pm 0.17\text{mm}$ 。

五、灵敏度测量

我国采用金属丝透度计灵敏度, 其定义为可看到的最细丝直径与被照物厚度之比。灵敏度关系到胶片的影像质量。本探伤机透照的钢试块厚度为 50—250mm, 所得钢的灵敏度均好于 1%, (按照美国 ASME E142 的 1—2T 的标准要求达到 1% 灵敏度)。表 3 为灵敏度与钢材厚度的关系。图 5 是它们的关系曲线。

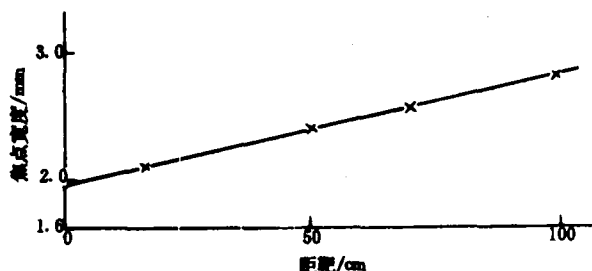


图 4 用 Sandwich 法测焦点大小的外推曲线

Fig. 4 Extrapolation curve of X-ray focal spot size by Sandwich method

表 3 灵敏度与钢材厚度之关系

Table 3 Sensitivity for steel thickness

钢材厚度/mm	50	100	150	200	250
能看到的最细丝直径/mm	0.5	0.8	1.0	1.25	1.6
金属丝透度计灵敏度/%	1.00	0.80	0.67	0.63	0.64

我们又制作一块人工模拟缺陷试样板, 将此板夹在钢试块中间不同的位置来模拟被测工件不同深度存在的缺陷大小, 拍得人工缺陷试样照片, 钢试块前均放有透度计, 所测得的 50—250mm 厚的钢材中, 金属丝透度计灵敏度均好于 1%, 符合美国 ASME E142 的 1—2T 标准要

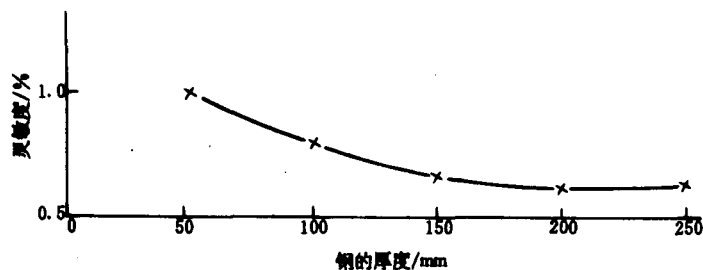


图5 金属丝透度计对钢的灵敏度

Fig. 5 Wire sensitivity for steel thickness

SFD: 1.5m, 胶片: AGFA Gevaert D 19, 铅增感屏: 前 0.5mm, 后 0.5mm;
黑度 D: 2.5; 显影时间: 4min; 定影时间: 10min。

求。

六、漏剂量场的测量

将准直锥出口用 200mm 厚铅块挡住, 将 26 个热释光片放在距以加速器靶为中心、半径为 1m 的球面不同位置上, 在剂量仪累计剂量为 5Gy (反映准直锥未封口时中心轴线 1m 处的累计剂量) 下测量各点漏剂量, 求出各点漏剂量与剂量仪累计剂量之比。除一点以外, 各点漏剂量均小于距靶 1m 中心轴线上强度的 1%, 图 6 和图 7 为经度、纬度的漏剂量场的分布。

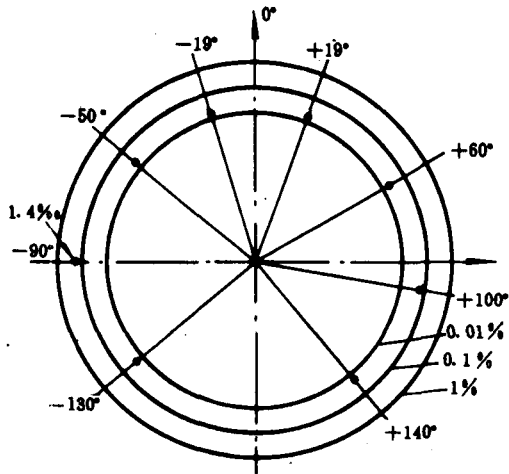


图6 经度漏剂量场的测量

Fig. 6 Longitude distribution of X-ray leakage radiation

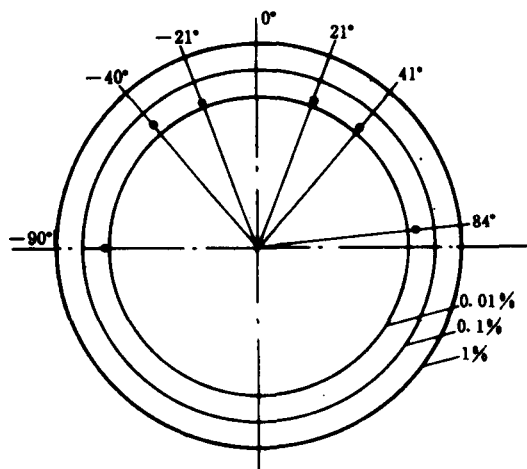


图7 纬度漏剂量场的测量

Fig. 7 Latitude distribution of X-ray leakage radiation

七、结果及国外同类产品主要性能比较

测试结果与国外同类产品主要性能比较列于表 4。4MeV 电子直线探伤加速器的主要技术指标均已达到、超过设计指标, 并接近和达到国外同类探伤机的水平。

在机器性能测试工作中,章向阳参加部份测试工作,高岩青、黄汝英设计剂量测试用的电动跑车,关再亮、张兆明设计制作了有关支架,吴杰、桑鑫增协助作了焦点测量的图象处理工作,张玉莲完成了热释光片的测量工作。杨天禄、曹德彰自始至终指导了整个测量工作,在此一并表示感谢。

表 4 结果和比较
Table 4 Result and comparison

国家	Varian(美国)	中国原子能科学研究院	Mitsubishi(日本)
型号	Linatron 400	Raphytron 4	ML-5R II
能量/MeV	4	4	4
剂量率/ $10^{-2}\text{Gy} \cdot \text{min}^{-1}$	400(500)	350(400)	240
焦点大小/mm	2	2	1
准直锥角(决定照射野大小/°)	22.5	22.5	17
钢半值层/cm	2.5	2.53	/
不对称性/%	$<\pm 5(\pm 7.5^\circ)$	$<\pm 2(\pm 7.5^\circ)$	/
均匀度/%	$>70(\pm 7.5^\circ)$	$>71(\pm 7.5^\circ)$	/
			100($\pm 15^\circ$)准直锥敞口情况下
漏剂量/%	0.1	0.1	5($\pm 15^\circ - \pm 30^\circ$) 1($\pm 30^\circ - \pm 60^\circ$) 0.3($> \pm 60^\circ$)
探伤灵敏度/%	1	1	1—2

(编辑部收稿日期:1989年7月19日)

THE MEASUREMENT OF MAJOR PARAMETERS OF 4 MeV RAPHYTRON

GUAN XIUFEN YANG ZHENYUAN SHI XIUZHEN LIU GUILAN
BI QUANLI LI JINGYUN

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275, Beijing, 102413)

ABSTRACT

The 4 MeV raphytron consists of an X-ray head, a controller, a modulator cabinet, a cooling water cabinet and a motorized positioning system(option). The raphytron 4MeV is capable of producing useful X-ray beams with characteristics usually used in high energy industrial radiography techniques. The major performance of raphytron 4MeV are as follows; Electron beam energy; 4MeV; X-ray dose rate; $\geq 3.50 \text{ Gy/min}$ (on the central axis); X-ray field size; $\Phi 400 \text{ mm}$ (at one meter); X-ray focal spot size; $\Phi 2 \text{ mm}$; X-ray flatness; $>70\%$ of the central axis intensity (at: $\pm 7.5^\circ$ of the central axis, no X-ray beam filter); X-ray unsymmetry; $<\pm 2\%$ (at $\pm 7.5^\circ$ of the central axis); Detection range; for steel, thickness of 50—250mm; Radiographic quality; equivalently 1—2T level as defined in ASME E142.

Key words Dose rate, X-ray unsymmetry, Energy, Focal spot size, Sensitivity.